УДК: 538.1.04: 539.124

М.Х.СЕРГЕЕВА, В.А.КОХАНОВСКИЙ

НАНОСТРУКТУРНАЯ МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ

Рассматриваются нанотехнологии, повышающие износостойкость твёрдых сплавов, быстрорежущих сталей и полимерных композитов.
Ключевые слова: *радиационная обработка, ионная имплантация, износостойкость.*

Введение. Значительные технологические перспективы использования в промышленности наноструктурных материалов послужили существенным толчком развития современных нанотехнологий. В области триботехники, когда все основные физико-механические процессы сосредоточены в контактной зоне, наиболее перспективным представляются нанотехнологии, модифицирующие поверхность твёрдых тел.

В данной работе используется такой известный метод получения наноструктурных плёнок, как ионное осаждение [1] в виде его вариантов: электронно-лучевой обработки и имплантации [2].

Постановка задачи. Основной целью, описанных ниже экспериментальных исследований, является повышение износостойкости трибосистем путём наномодификации их поверхности. Высокая эффективность нанотехнологий позволяет повысить износостойкость как материалов лезвийных режущих инструментов, так и полимерных антифрикционных композитов в металлополимерных трибосистемах.

Методика исследований. В качестве объектов, поверхность которых подвергалась модификации, использовались неперетачиваемые твёдосплавные пластины (формы 02114-100612), спиральные свёрла из быстрорежущей стали диаметром 3 мм и полимерный препрег для антифрикционных покрытий подшипников скольжения. Все режущие инструменты обрабаты-
вались по задней грани.

Условия поверхностной наномодификации приведены в табл.1, где обозначено: E – энергия; D – доза; I – ток; τ - время.

Таблица 1

Модифицируемые материалы и условия их обработки

№ п/п	Модифицируемый материал	Реагент	Оборудование	Среда	Режим обработки
1	Т15К6	Электроны высоких энергий	Ускоритель ЭОЛ - 2	Газообразный азот	E = 0,4МэВ , I = 35 мА,
2	ВК8				
3	Р6М5				

4	Т15К6	Ионы WC	Имплантатор МИР - 2	Вакуум 2 Х 10^{-5} Па	E = 80 МэВ, D = 10^{17}ион/см^2, τ = 35 мин
5		Ионы Cu			
6	Р6М5	Ионы WC			E = 90 МэВ, D = 10^{17}ион/см^2 τ =25 мин
7		Ионы Cu			
8	Полимерный препрег				E = 20…80 МэВ D=3,7..12,7ион/см2 τ =10…34 мин

В качестве ионов, имплантируемых в инструментальные материалы, были выбраны ионы карбида вольфрама WC как наиболее твёрдого и износостойкого и ионы меди как существенно снижающие теплонапряженность режущих кромок в связи с высокой теплопроводностью меди.

В препрег полимерного композита имплантировались ионы меди с целью увеличения теплопроводности и повышения возможности реализовать режим избирательного переноса при трении.

После поверхностной обработки проводились сравнительные (до и после) стойкостные испытания инструментов в широком диапозоне режимов резания. Подшипники с модифицированным покрытием проходили испытания на специальном стенде вращательного движения, созданного на базе токарно-винторезного станка модели ТВ-4.

Стойкостные исследования проводились по ускоренной методике при времени резания 10-20 мин. [3]. Режимы всех исследований на износостойкость приведены в табл.2, где обозначено: V – скорость резания; S – подача; t – глубина резания; L – глубина сверления. Порядковые номера материалов во всех таблицах идентичны.

Таблица 2

Условия исследования модифицированных материалов

№ п/п	Модифицированный материал	Тип испытаний	Контактный материал	Режим испытаний
1	Т15К6	Наружное точение	Сталь 45	V = 80-180 м/мин, S = 0,11-0,43мм/об, t =0,5-2,0 мм
2	ВК8		Чугун СЧ-18	
3	Р6М5	Сверление глухих отверстий	Сталь 45	V = 8,3 м/мин, S – ручная, L = 10 мм
4	Т15К6	Наружное точение		
5				V = 50-150м/мин, S= 0,11-0,43мм/об, t = 0,5-1,5мм
6	Р6М5	Сверление глухих отверстий		
7				V = 8,3м/мин, S – ручная, L = 10 мм
8	Полимерное покрытие	Трение скольжения	Сталь ШХ15	V = 0,214 м/с, P = 13 МПа

Результаты исследований. Все исследованные материалы после наномодификации поверхности повысили свою износостойкость (табл.3). Однако повышение износостойкости поверхности модифицированных материалов имеет различную величину и физическую природу.

Так, облучение твёрдосплавных пластин электронами высоких энергий в среде азота образует на облученной поверхности тонкий мелкозернистый нетравящийся белый слой. Идентификация структурных измене-

ний в этом слое при использовании рентгеновского дифрактометра ДРОН–2 показала наличие пиков окислов и нитридов вольфрама и титана при значительном аморфном гало. Поскольку облучение проводилось в среде азота, присутствие окислов может быть объяснено адсорбированным кислородом на поверхности пластин. Размеры зёрен в поверхностном слое твёрдого сплава сильно уменьшены. В пластинах из ВК8 после облучения размеры зёрен уменьшились в среднем на 31,8 % и достигли 1 мкм.

Таблица 3

Результаты экспериментальных исследований

№п/п	Модифицированный материал	Тип модификации	Параметр сравнения	Улучшение параметра в %
1	Т15К6	Облучение электронами высоких энергий	Стойкость в минутах резания (в числе обработанных деталей)	32,2 (61,3)
2	ВК8			24,1
3	Р6М5			36,3 103,9
4	Т15К6	Имплантация ионов WC		89,2
5		Имплантация ионов Cu		2,4 2,25
6	Р6М5	Имплантация ионовWC		
7		Имплантация ионов Cu		
8	Полимерное покрытие		Ресурс в часах	11,7

Следует отметить неравномерность повышения стойкости. Стойкость пластин с низким значением микротвёрдости (1499,7) повысилась значительно меньше (на 5-12%), чем стойкость с более высоким её значением (1761,9). Это обстоятельство увеличило вариации стойкости в выборке (N =60) радиационно обработанных пластин. Кроме того, стойкость, оцененная величиной износа по задней грани (см. табл.3), существенно меньше технологической стойкости, оцененной количеством реально обработанных деталей в заводских условиях.

Радиационная обработка свёрл из быстрорежущей стали также дала существенное повышение стойкости. Сравнение микротвёрдости образцов-свидетелей при нагрузке 100Н до и после облучения показало увеличение её на 180 %.

Вторым исследованным методом модификации поверхностного слоя контактирующих элементов трибосистем является ионная имплантация, повышающая износостойкость гораздо интенсивнее, чем радиационная обработка (см.табл.3).

Сравнительные стойкостные исследования показали, что имплантация ионов карбида вольфрама вызывает на 16,5 % большее повышение средней стойкости, чем имплантация ионов меди. Однако, учитывая естественный разброс (до 30 раз [3]) характеристик пластин, считаем, что разница в стойкости находится в пределах ошибки опыта. Следовательно, повышение стойкости связано очевидно не столько с типом имплантированных ионов, сколько с общим эффектом воздействия нанотехнологий, проявляющимся в общем увеличении межфазных границ [1,4].

Для выяснения физической сущности повышения стойкости пластинки были классифицированы на группы стойкости, и в каждой группе была измерена микротвёрдость (табл.4).

Таблица 4

Микротвёрдость пластин Т15К6 (р=100Н)

Стойкость	Высокая	Средняя	Низкая	Имплантация
Микро-твёрдость	2013	1973	1921	Отсутствует
	2147	1760	1158	Ионы WC
	1933	1202	1067	Ионы Cu

Анализ данных, представленных в табл.4, позволяет сделать заключение о том, что определяющим в повышении стойкости при имплантации является не микротвёрдость, а, по- видимому, повышение вязкости разрушения кобальтовой связки твёрдого сплава. Подобное явление отмечено в работе [4].

Имплантация ионов WC и Cu в заднюю поверхность свёрл повысила их стойкость в 2,25-2,4 раза. Это существенно превышает эффект от радиационной обработки (см.табл.3), хотя при этом микротвёрдость, по-видимому в связи с увеличением пластичности, осталась практически на прежнем уровне или понизилась, как в случае с имплантированными ионами меди (см. табл.4).

Выполненные стойкостные экспериментальные исследования показали, что все инструменты уменьшают начальные износы и увеличенные периоды стационарного изнашивания. Это косвенно подтверждает сосредоточение наномодифицированного материала в весьма тонком поверхностном слое.

Полимерный препрег композиционных антифрикционных покрытий для подшипников скольжения в качестве антифрикционного компонента содержит фторопластовые нити «полифен». При облучении препрега ионным потоком параллельно протекают два противоположных процесса: радиационная деструкция фторопласта и повышение ресурса в результате влияния ионов меди. Оптимальными режимами имплантации, установленными экспериментально, является ускоряющее напряжение Е = 20кВ при времени экспозиции τ = 10-15 мин.

Анализ кривых износа показывает, что рост ресурса полимерных покрытий происходит в основном за счет сокращения приработочных характеристик: начального износа и времени приработки.

Выводы. Радиационная обработка и ионная имплантация являются высокоэффективными методами повышения износостойкости самых разных материалов - твёрдых сплавов, легированных инструментальных сталей и полимерных композитов. Повышение износостойкости обеспечивается изменениями поверхностных структур, проявляющимися в измельчении структурных зёрен, увеличении вязкости разрушения и, в ряде случаев, твёрдости.

Применение методов ионного осаждения для повышения износостойкости полимерных материалов требует подбора режимов для оптимизации дозы облучения (ион/см^2), варьирующейся в зависимости от природы полимера.

Библиографический список

1. *Андриевский Р.А.* Наноструктурные материалы. / Р.А. Андриевский, А.В.Рагуля. - М.: ACADEMA, 2005. - 192 с
2. *Диденко А.Н..* Воздействие пучков заряженных частиц на поверхность металлов и сплавов. / А.Н. Диденко, А.Е.Лигачёв, И.Б.Куракин. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 184 с.
3. *Владимиров В.В.* Исследование износостойкости инструментальных материалов после радиационной обработки. / В.В. Владимиров, Н.С.Колев, М.Х.Сергеева. и др. // Промышленные уско-

рители и радиационная технология: сб. ст. - М.: РИАН СССР, 1983 . - С. 59-65.
4. Нанотехнология в ближайшем десятилетии. Прогноз направлений исследований; под ред. М.К.Роко, Р.С.Уильямса, П.А.Аливисатоса: сб. ст. - М.: Мир, 2002. - 292 с.

Материал поступил в редакцию 17.03.08.

M.H. SERGEEVA, V.A. KOHANOVSKY

SURFACE NANO LEVEL STRUCTURAL MODIFICATION

Nano level technologies for wear resistance increase were considered for Different materials: cemented carbides, high speed steels and polymer composites.

СЕРГЕЕВА Марианна Христофоровна, доцент кафедры «Управление качеством» (2006) ДГТУ, кандидат технических наук (1986),
Автор более 70 научных публикаций в области надежности систем.

КОХАНОВСКИЙ Вадим Алексеевич (р.1939), доктор технических наук (2005), профессор кафедры «Технология конструкционных материалов» (2006).
Автор более 150 научных публикаций в области трения и изнашивания.